从清华大学藏定东陵烫样看烫样的支撑结构设计

文 雯　刘 畅 ［奥地利］荷雅丽　王青春

内容提要　本文通过分析微距影像及烫样组件在可见光、紫外光及 X 射线下影像，结合复制试验，探讨了清华大学藏普祥峪、菩陀峪万年吉地地宫烫样的内部结构和外部构造，同时对照故宫博物院藏诸烫样，讨论样式房烫样做法的普遍性和差异性。

关键词　定东陵烫样　结构　构造　设计

清华大学建筑学院藏定东陵方城明楼及地宫烫样（之前论文中烫样定名宜为："清华大学建筑学院藏定东陵方城明楼及地宫烫样"）主要制作于同治十二年（1873）五月，是彩绘贴签的进呈样，可层层揭看，为定东陵方案设计阶段的一份过程性烫样，其基本信息已经有学术发布，制作工艺亦得到了更有针对性的探讨[1]。简单归纳，可以认为烫样不仅是在立体空间中将各个二维图样的整合表达，更是说明构造交接、展现建筑空间、引导虚拟穿行的重要手段。就其制作工艺而言，在简化和抽象化基础上，烫样设计和制作者尤其重视内部结构的设计。究其原因，主要在于表现内容的需要和烫样牢固的需要。

为了更好地研讨烫样设计自身，考察烫样制作和烫样所要表达的建筑信息，以及烫样材料工艺所带来的结构和构造制约，本文将特别展开基于针对定东陵方城明楼及地宫烫样交接关系设计和隐蔽结构做法的研究。

一　问题的提出与研究方法

清华大学藏定东陵方城明楼及地宫烫样属于陵寝工程设计史料范畴，是现存少见的反映砖石结构建筑的烫样遗存，与数量稀少的故宫博物院藏陵寝烫样及德国民族博物馆收藏一起，弥补了现存烫样以表现木结构和内檐装修为主的遗憾。

与一般的木结构建筑烫样相比，本烫样具有以下特点：

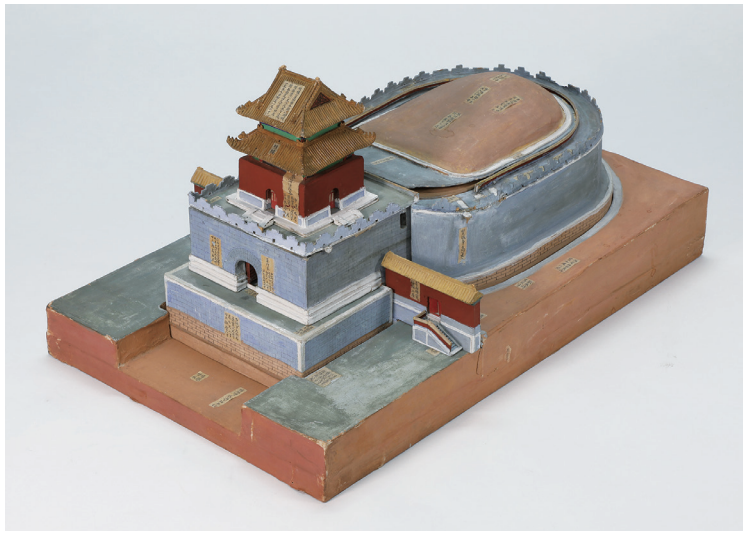
1. 烫样方城部分反映常规木结构建筑相应比例尺烫样之做法；

‹1›　刘畅、文雯、荷雅丽、王青春：《清华藏定东陵烫样基础信息实录》，《建筑史》第4辑，待刊，中国建筑工业出版社，2020年；文雯、刘畅、荷雅丽、王青春：《清华藏定东陵烫样制作工艺初探》，《中国建筑史论汇刊》，待刊。

2. 烫样宝城和地宫中出现大量各种规模之体块做法，表现土作、瓦作等构造组合及其交接关系；

3. 烫样宝城和地宫中出现大量曲面形式，对烫样的制作方法和技术提出了更高的要求〔图一〕。

〔图一〕普祥峪菩陀峪万年吉地地宫烫样
姜明摄





据既往观察，烫样组件表面存在另敷的纸张层和/或颜料层，同时存在后期重新敷彩的痕迹（详见后文）。这意味着这些经过“后期处理”的烫样组件，需要达到更好的造型稳定性，才能完整保存至今。于是，针对这个现象，为了更好地理解烫样自身的设计和制作的工艺需求，必须更加仔细地观察烫样细节和隐蔽做法，运用适当的技术手段回答以下三个问题：

1. 烫样组件分块设计——其背后的设计目的是什么？

2. 保证烫样组件敷纸、涂色时形变可控的内部支撑结构是什么样的？存在什么样的设计和制作方法？

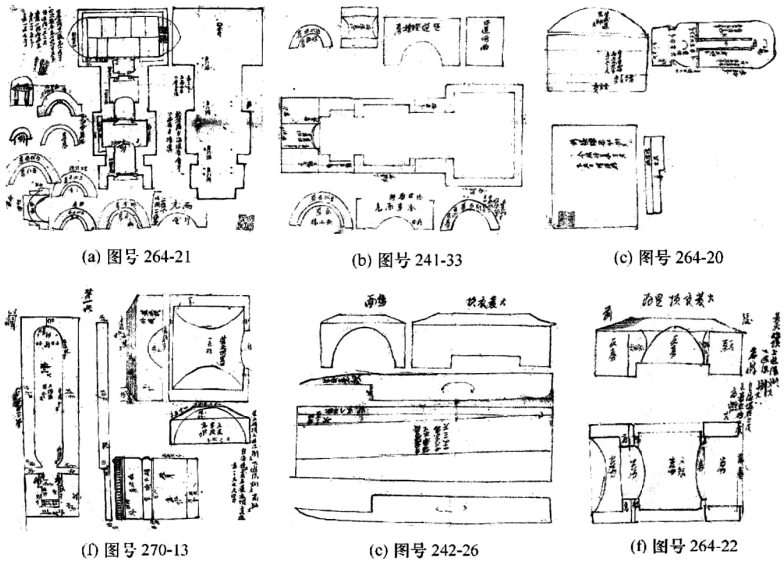
3. 既然各个组成组件的设计需要直接面向烫样本身的构造关系，那么他们的尺度设计又须做出哪些妥协和调整？是如何实现的呢？

因此本研究必须在一般观察和影像采集之外，借助微距影像，以及在可见光、紫外光照射下的影像，和X射线透射影像，通过综合研判，推知上述问题的答案或可能性。

对于普通影像采集，研究团队采用中国营造学社实验室自有设备；而X射线探伤利用X射线透射影像部分，则采用北京联合大学应用文理学院文物X射线探伤实验室对烫样构件进行了影像采集‹1›。我们选取地宫地面、蓑衣顶填厢盖面灰土、背后大夯灰土、隧道券、蹬券及其填厢盖面灰土、方城地面、明楼墙身、西看面墙和西木踏跺10个简明组件不做X射线拍照，另21个组件采集X光影像，利用透射影像中因对象材质和厚度差异造成X射线衰减，而最终形成影像深浅差异判断对象内部构造。

‹1› 具体操作及设备参数，详见前揭文雯、刘畅等《清华藏定东陵烫样制作工艺初探》。

〔图二〕平安峪地宫烫样分件草图
图片采自王其亨、王方捷:《中国古建筑设计的典型个案——清代定陵设计解析(上篇)》,《中国建筑史论汇刊》2015第2辑,页215–266



二　烫样分件设计

考察清华大学藏定东陵方城明楼及地宫烫样分件设计，旨在推测制作人对于烫样组件规模极限和信息表达原则等问题的想法。样式房在制作定陵地宫烫样时绘制的分件草图流传至今[1]，是今人研究陵墓等砖石建筑烫样券座做法的宝贵材料。这批草图线条和字体均不甚整齐，应是样式房内部参阅之用，或由掌案雷思起绘制，向诸匠阐明构件做法要求〔图二〕。

纵观此烫样所有组件，各自形态与各自构造相呼应，尺度上可分成大(至少一边尺度大于200毫米)、中(大边尺度介乎100和200毫米之间)、小(各边尺度均小于100毫米)三类，做法上则有板片(或带有小型贴附)、板片组合、体块三类。归纳如[表一]。

[表一] 清华大学藏定东陵方城明楼及地宫烫样组件规模与形式统计表

组件编号	组件名称	实测尺寸/毫米			组件规模	组件形式
		面宽	进深	总高		
方-01	明楼上层檐	90	90	46	小型	异形体块
方-02	明楼下层檐	105	105	45	中型	非规则板片组
方-03	明楼墙身	136	136	65	中型	非规则板片组
方-04	方城城面	160	160	14	中型	方形板片为主
方-05	方城墙身	158	158	70	中型	异形体块
方-06	方城南门洞券	72	16	32	小型	异形体块
方-07	方城北门洞券	67	96	35	小型	异形体块
方-08	扒道券	154	13	52	中型	异形体块
方-09	看面墙东	109	32	86	中型	异形体块
方-10	看面墙西	109	32	86	中型	异形体块
方-11	木踏跺东	9	68	48	小型	异形体块
方-12	木踏跺西	9	68	48	小型	异形体块
方-13	隧道券	64	88	35	小型	拱形体块
方-14	方城前月台	186	269	54	大型	异形体块
宝-01	宝顶	192	294	48	大型	异形体块
宝-02	方城填厢盖面灰土	72	76	19	小型	方形体块
宝-03	蹬券	72	76	96	小型	异形体块
宝-04	大夯灰土东	50	256	120	中型	异形体块
宝-05	大夯灰土西	50	256	120	中型	异形体块

‹1› 王其亨、王方捷:《中国古建筑设计的典型个案——清代定陵设计解析(上篇)》,《中国建筑史论汇刊》2015年第2辑,页215–266。

（续表一）

组件编号	组件名称	实测尺寸/毫米			组件规模	组件形式
		面宽	进深	总高		
宝-06	背后灰土	126	26	120	中型	异形体块
宝-07	宝城	274	380	160	大型	异形体块
宝-08	地宫填厢盖面灰土	144	186	78	中型	异形体块
宝-09	蓑衣顶	124	170	67	中型	异形体块
宝-10	闪当券	106	16	58	中型	拱形体块
宝-11	罩门券	98	30	58	大型	拱形体块
宝-12	金券门洞券	67	30	43	小型	拱形体块
宝-13	金券	126	116	63	中型	异形体块
宝-14	地宫平水墙	147	179	77	中型	复杂异形体块
宝-15	地宫地面	144	179	6	中型	异形板片
宝-16	地宫底	294	536	16	大型	异形体块
宝-17	大槽底	374	630	74	大型	异形体块；木格栅底盘

第一个需要注意的问题是，以上31件组件中，只有4件由板片组成，为表现常规木结构建筑之屋顶、墙体、地面等形式；其余27件，以表现地下建筑做法为主，均采用板片组合体块形式——其结构类似外表敷纸涂色的纸盒子。这些“纸盒子”最大的有630毫米长，最小的尺寸只有9毫米厚。由于表面需要进行裱糊、涂色等湿作业，因此纸盒湿度形变响应问题便是必须解决的问题。本研究对象各个部件所表现出来的良好的外形稳定性引导我们针对其内部结构展开进一步考察和分析。

还有一个需要注意的问题是，尽管各个单体组件以独立的方式制作，将其组织、拼合在一起的时候存在构造通缝，但是在实际工程中，各部分做法中的构造往往是连续的、咬合的。比如东西“大夯灰土”和“宝城背后灰土”，一定是连续夯筑而成；又如方城南北“门洞券”和“扒道券”之间，应当连续咬合砌筑、避免构造通缝；再如很多砖砌构造与夯土之间理应留出踏口，保证连接紧密。同样地，烫样也存在一些组件综合表达复杂做法，比如东西“看面墙”与墙前台阶连做[1]，又如地宫内部墙体、石门等连做。简言之，分件设计的初衷更加倾向于烫样的表现方式、揭看方式，并不拘泥于建造细节和建造过程。

此外，无论在烫样的部分构件中，还是为烫样而绘制的草图中，均明确做出了穿孔和提绳位置，提绳在背面打结固定，实专门为便于层层揭看而设计〔图三〕。御前或有司呈览之际，揭看和展示的流程想必是样式房应当考虑的重要内容。构件间的空隙往往不够一个成年人手指的宽度，顶面穿提绳的做法确实是烫样设计的一大巧思。

按照上述思路归纳，此烫样的展示对象主要是管理者和决策者，而对于施工人员的指导作用是次要的。这与2019年故宫宁寿宫花园萃赏楼二层墙壁裱糊中发现的烫样残片不同——后者由多层纸合褙刻镂而成，单色墨线绘制，系一寸五分样，并无色彩渲染，猜想为现场施工而制，用毕抛弃，用作衬底。

‹1› 曾脱落后回贴。

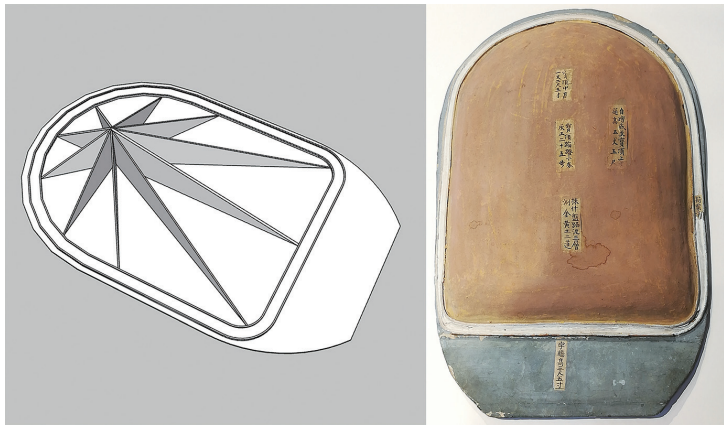
〔图三〕烫样方城南北门洞券及扒道券构件顶面提绳
姜明摄



〔图四〕蓑衣顶填厢盖面灰土底面细部
姜明摄

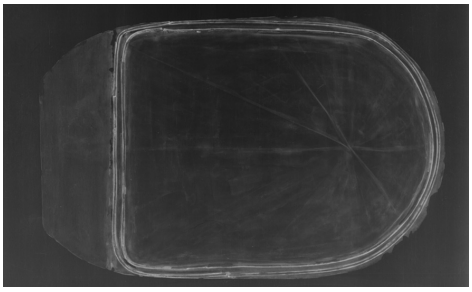


〔图五〕宝顶内部支撑结构示意图
a. 笔者绘　b. 笔者拍摄

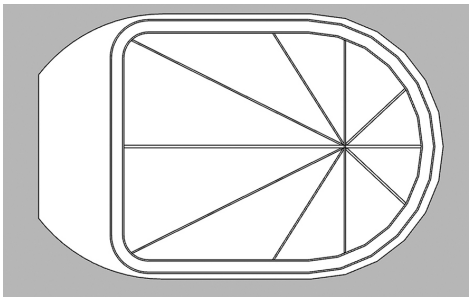


a　b

〔图六〕宝顶内部结构平面对比图
a. 笔者拍摄　b. 笔者绘



a



b

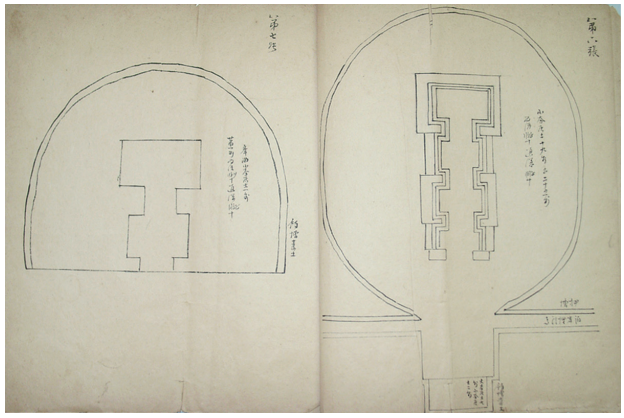
三　烫样内部结构探究

鉴于该烫样体块类组件的内部结构最为隐蔽，本研究选择明楼上下层檐、方城城身及其南北门洞券、扒道券、月台、东看面墙、东木踏跺、宝顶、宝城、东西大夯灰土、蓑衣顶、闪当券、罩门券、金券及其门洞券、地宫平水墙、地宫底灰土和大槽底共21个构件，分别采集一至两个立面方向的X射线影像。根据所得影像资料，所选体块类组件内部多存在支撑结构，仅明楼上下层檐、闪当券、东木踏跺和方城南门洞券无内部支撑。至于未拍摄X光片的蓑衣顶上填厢盖面灰土的细部做法，也能够支持上述判断。该构件与蓑衣顶对应的部分可看作若干细长的盒状结构的叠合。每一层并非完整的一条，而是被内部支撑打断成三段，表面再覆盖面层纸。内部支撑的断面突出至外表面，无须借助X光片〔图四〕。这种长边三分的做法与蓑衣顶和金券的内部结构一致。推测其他组件以尺度而分，与此规律相类。就X光影像所见支撑构造而言，繁简各异，亦随组件形状有所不同。兹总结如下。

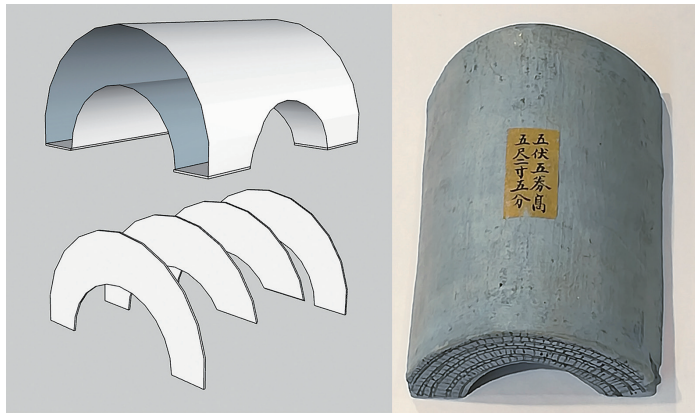
1. 中心放射式

中心放射式仅出现在“宝顶”中，以金井正上方对应的构件最高点为中心，向周围十个方向发散〔图五，图六〕。中心放射式的内部结构为我们解释宝顶曲面制作提供了线索。这些中心放射状的内部结构很可能是宝顶曲面的定位骨架，其发散方向分别为正东西南北向、东北

〔图七〕**万年吉地地宫井宝城灰土地脚样底**
清华大学建筑学院藏



〔图八〕**金券内部支撑示意图**
a. 笔者绘　b. 笔者拍摄

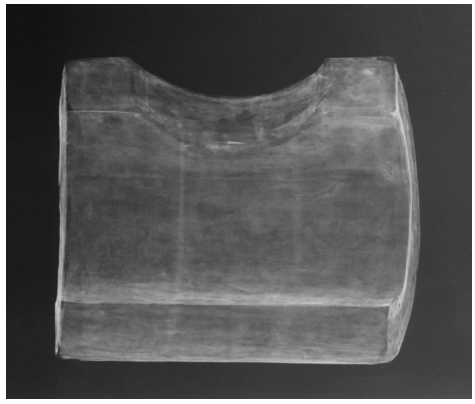


a　　b

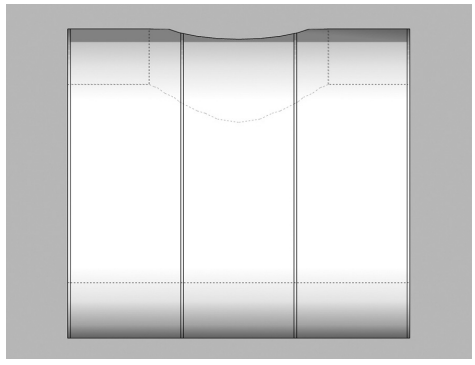
和西北向、中心到东南和西南转角向以及中心到东西边中点向。这些控制线确定了曲面的形状，也成为曲面依托的基础支座。

对比画样〔图七〕可知，宝顶部分在画样和实际施工中都是依据格网等高控制逻辑完成的，但在烫样制作中，出于实用和简便的考量，其支撑结构设计是自成体系的。

〔图九〕**金券内部结构平面图**
a. 笔者拍摄　b. 笔者绘



a



b

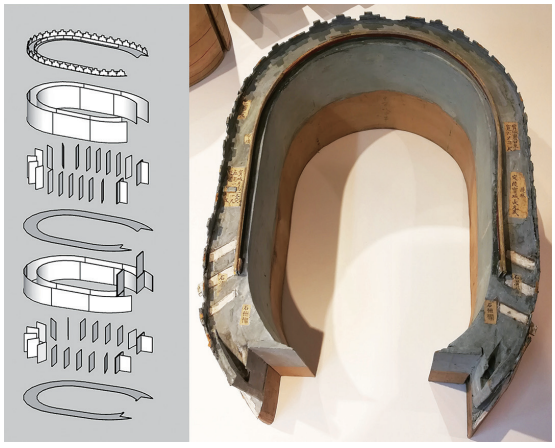
2. 平行式

平行式指内部支撑板片方向近似平行或垂直于构件的某一个或几个表面。支撑板片或因构件形体限制，或因制作时精度不高，或因年代久远松动而并不严格相互平行，局部或有三角式加固结构，平行式的命名仅就支撑体系的主导设计逻辑而言。此类结构在本烫样中应用较少，出现在大槽底、宝城、蓑衣顶、金券及其门洞券、罩门券和方城北门洞券共7个构件中。这类构件本身形体较复杂，支撑部分的局部跨度相对较小‹1›。根据绝对尺度，平行式支撑体系又可细分为简单平行式和正交式两个子类。

(1)简单平行式应用于金券及其门洞券、罩门券、宝城和蓑衣顶。其中罩门券和金券门洞券的内部结构平行于面阔方向，金券和蓑衣顶的内部结构均垂直于面阔方向，宝城的内部结构则垂直于每一板片所在局部的外围方向。前两类的内部结构板片形状可直接由外围结构中最复杂的一个平面边缘减去纸板厚度得到，简省了复杂形体设计和额外制作的工作量〔图八，图九〕。宝城构件分上、下两部分制作，每一分件

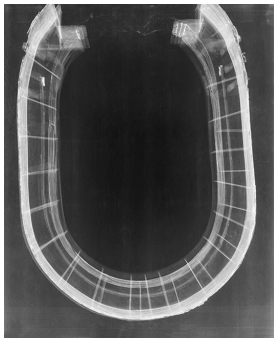
‹1›　此处的相对较小指需要内部支撑的局部相对构件整体而言。例如大槽底本身为最大的构件，但仅周边三面需要支撑，每边占大槽底整体的比例较小。宝城同理。

〔图十〕宝城内部支撑示意图
a. 笔者绘　b. 笔者拍摄

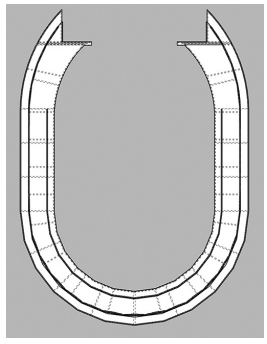


a　　b

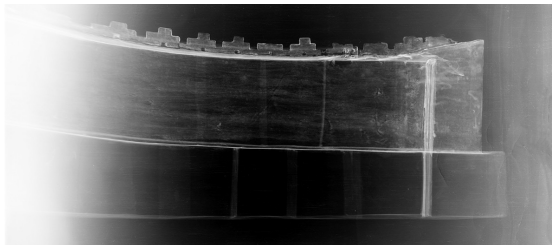
〔图十一〕宝城内部结构平立面图
a、c. 笔者拍摄　b、d. 笔者绘



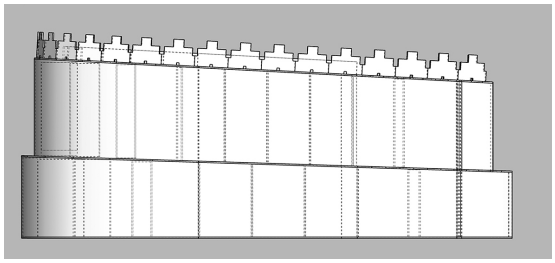
a



b



c



d

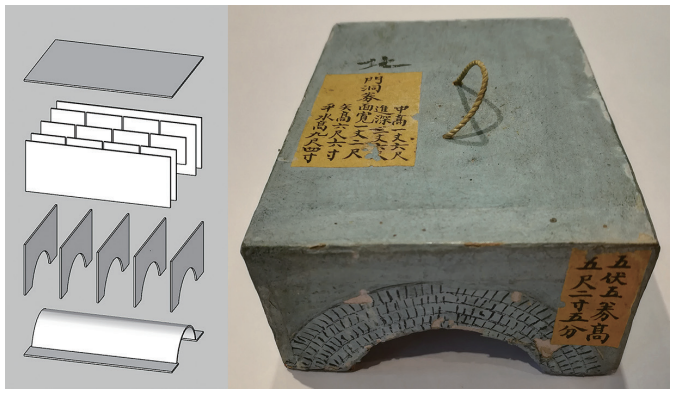
的内部宽度相对固定，高度随举溜[1]而有微妙的变化。宝城构件除去垛口的总高度在120毫米－140毫米（三寸八分至四寸四分）之间；下层高度在51毫米－62毫米（一寸六分至一寸九分）之间，共18片；上层高度在67毫米－76毫米（二寸一分至二寸四分）之间，共17片。近20片板片的高差在四分之内，相邻板片间细微的高度变化对于内部结构而言是一个过高的精度。观察X射线影像可见，在较低位置的部分板片放置的角度略有倾斜。据此推测，或许宝城的内部结构在设计制作时，上下层分别在最低和最高点准确定位，中间过渡位置按同一规格，或至多粗略地分为较高和较低两类，手工制作的误差和倾斜粘贴的权变抵消这部分高差〔图十，图十一〕。

（2）正交式应用于方城北门洞券和大槽底，前者为单纯的正交式结构，后者主体为正交式，四角增加45°的斜向支撑，两者相通之处在于正交的两个方向的板片在设计时并不对等，并非两个连续的板片相互穿插交织在一起，而是存在一个连续的主导方向，与之垂直的方向板片则被打断成若干段，固定在连续板片之间，在不同短片之间可见错位的断口。南门洞券的主导方向平行于面阔，其逻辑与平行式板片一致，分别在进深的中点和两个四分点设置，打断方向与之垂直，并非安装在四分点，而是分别设置在中线和两边撞券的位置，或是出于简化高度计算的考虑〔图十二，图十三〕。大槽底方城段两侧正交区域的主导方向为更长的、平行于进深的方向，与之垂直的方向添加较短的、打断的板片，而尺度更小的踺踏段则仅有主导方向的内部结构，无垂直方向的辅助板片〔图十四，图十五〕。这种处理方式，与样式房诸多表达内檐装修板片的设计安装逻辑具有高度一致性。在与本烫样年代几乎重合的同治时拟重修圆明园期间制作的一批烫样中，九洲清晏殿的一层内檐以平行于面阔为主导方向，平行于进深方向的板片打断置于其间；二层仙楼虽以面阔为主导方向，但在面阔和进深两个方向均有打断〔图十六〕[2]。万方安和烫样以八条面阔方向的外檐连续板片

‹1› 地面倾斜。

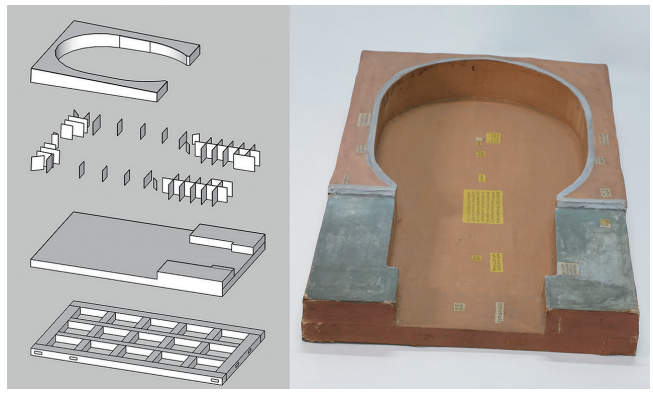
‹2› 蒋哲：《从图样、烫样到空间——圆明园九洲清晏殿内檐装修研究》，清华大学博士学位论文，2018年。

〔图十二〕方城北门洞券内部结构示意图
a. 笔者绘　b. 笔者拍摄



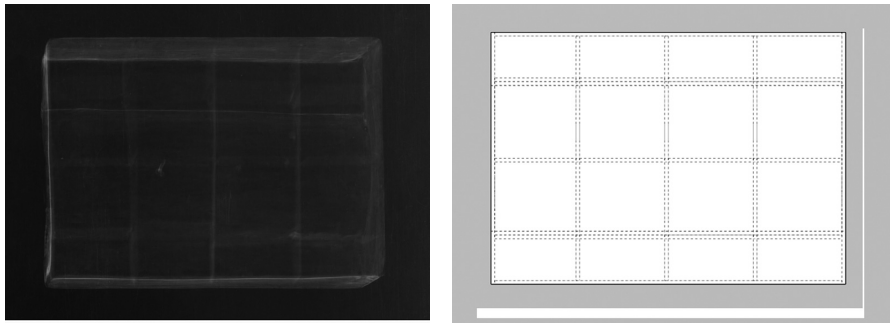
a　　b

〔图十三〕方城北门洞券内部结构平面图
a. 笔者绘　b. 笔者拍摄



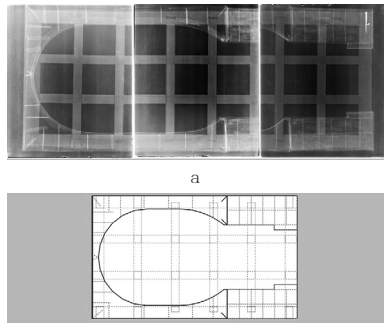
a　　b

〔图十四〕大槽底内部结构示意图
a. 笔者拍摄　b. 笔者绘



a　　b

〔图十五〕大槽底内部结构平面图
a. 笔者拍摄　b. 笔者绘



a

b

为主导方向，每一槽特定的装修板片夹置其间，而中宇的四面装修均为独立粘贴的板片，也反映出烫样内外檐分别制作安装的可能性〔图十七〕[1]。

3. 三角式

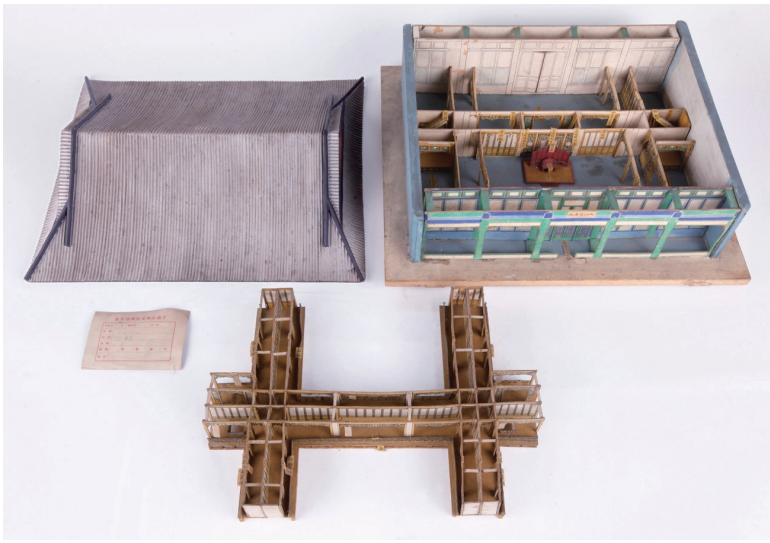
三角式将内部空间划分为多个三角形小空间，主要通过连续折线来实现，类似桁架结构，部分构件中也混用平行式板片。三角式在烫样中应用较广，使用于地宫底、地宫墙、两侧大夯灰土、月台、方城城身、扒道券和东看面墙八个构件中。这些构件使用的三角式的部分形体较单纯，无复杂曲面[2]。三角式的支撑板片均为矩形长条，根据构件形体弯折成一定方向的连续折线，垂直于构件相互平行的两外表面放置，较平行式而言，增加了支撑强度和稳定性。

三角式与平行式的划分以主导构造逻辑为标准，在三角式中不排除平行式板片的存在。此类平行式板片可作辅助性的分区用，也可作为局部的支撑与三角式兼用。

‹1›　刘仁皓：《万方安和九咏解读——档案、图样与烫样中的室内空间》，清华大学博士学位论文，2015年。

‹2›　部分构件如方城城身和地宫墙为复杂的异形体块组合，但每一使用三角式支撑的局部均为一简单空间，复杂形态由更高一级体型组合完成。

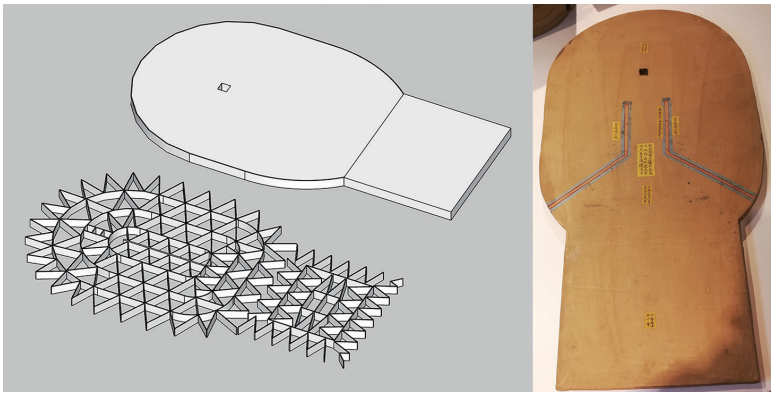
〔图十六〕九洲清晏殿烫样内檐仙楼
故宫博物院藏



〔图十七〕万方安和烫样内檐细部
故宫博物院藏

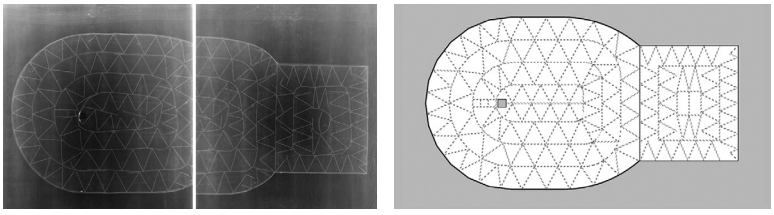


〔图十八〕地宫底构件内部结构示意图
a. 笔者绘　b. 笔者拍摄



a　　b

〔图十九〕地宫底构件内部结构平面图
a. 笔者拍摄　b. 笔者绘



a　　b

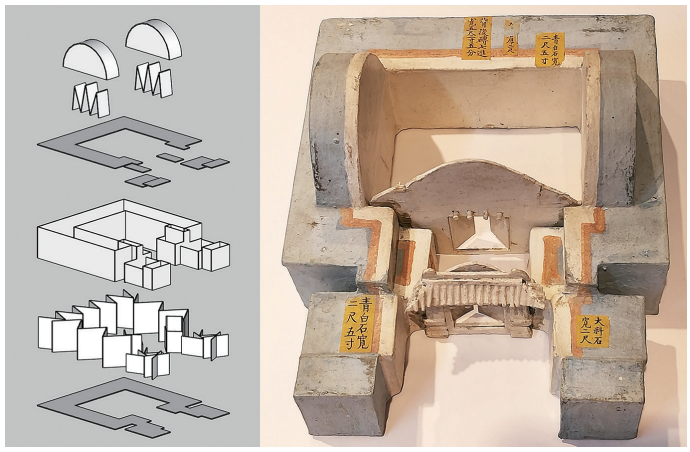
分区是三角式构件中的常见手法，有平行分区和分件分区两种方法。

(1)平行分区即在单一内部空间中用平行式的板片划分若干区域。典型构件如地宫底灰土，其平面面积大，高度低，内部是一个完整的大空间。一道板片将对应方城和宝城的区域隔开，二者分别采用同心环状结构进行内部分区，方城区两重环隔出三层空间，宝城区三重环隔出四层空间。每一层空间宽度相近，由若干段折线填充。最内层的空间被一或两段直线板片划分，宝城区在其两侧分别填充一段折线，方城区受尺度限制无折线。或受金井处方孔影响，宝城区最内层的中部直线水平旋转。次内层上部正中在规则的环状+折线结构外，又增加了两条平行的纵向板片，其间置两条平行的横向板片〔图十八，图十九〕。

(2)分件分区以地宫墙和看面墙为典例。地宫墙构件由金券券口、金券平水墙、罩门券平水墙和闪当券平水墙四个分件及两道石门组合而成，前四个盒状分件内部均分别有三角式内部结构，根据分件方向、形态和尺寸有各自的排列〔图二十，图二十一〕。看面墙由檐部、上身(含门)、下碱、基座、台阶和扶手六个分件组成，其中上身和下碱分别采用独立的三角式内部结构，基座由于尺度较小，仅在中部有一道平行式板片〔图二十二，图二十三〕。

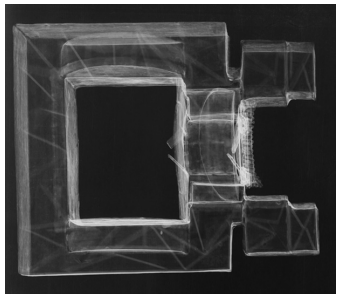
内部结构的选择因构件制宜，以合用为先，不拘泥于特定形式，在月台和方城城身中均出现了典型

〔图二十〕地宫墙构件内部结构示意图
a. 笔者绘　b. 笔者拍摄

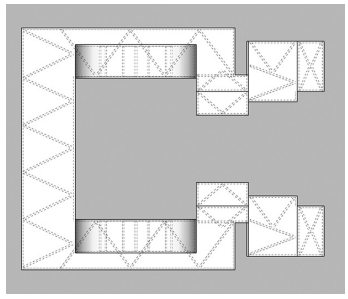


a　b

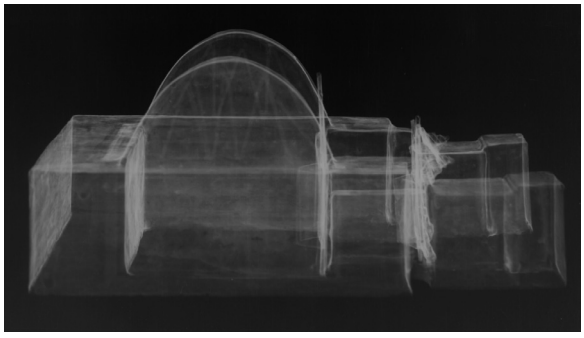
〔图二十一〕地宫墙构件内部结构平立面图
a、c. 笔者拍摄　b、d. 笔者绘



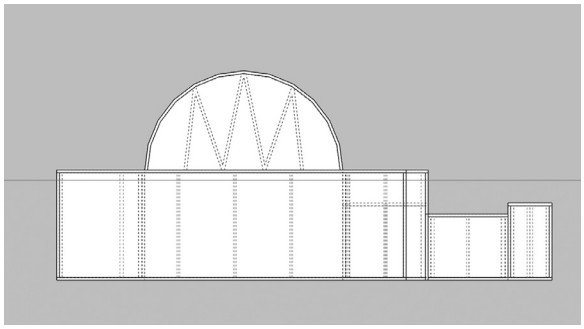
a



b



c

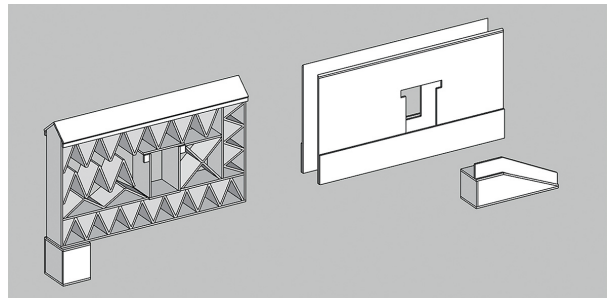


d

〔图二十二〕看面墙构件内部结构示意图
a. 笔者拍摄　b. 笔者绘

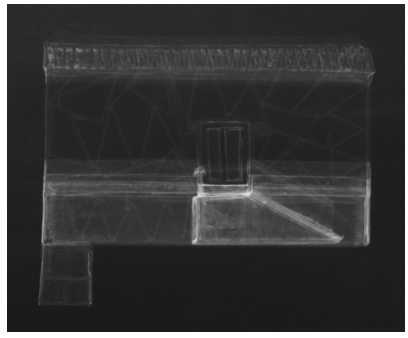


a

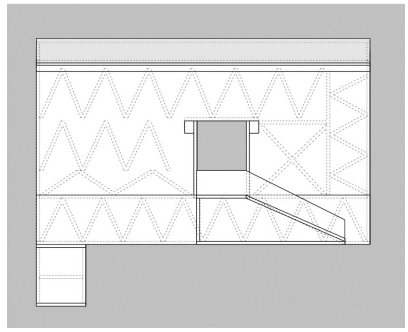


b

〔图二十三〕看面墙构件内部结构立面图
a. 笔者拍摄　b. 笔者绘

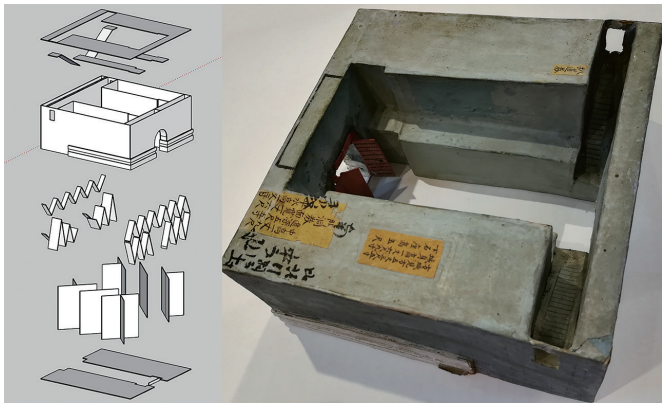


a



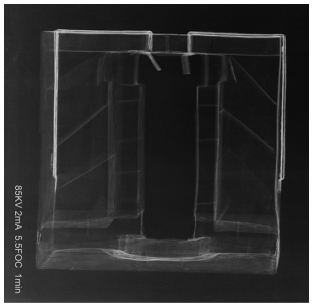
b

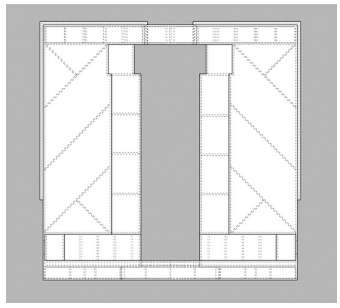
〔图二十四〕方城城身构件内部结构示意图
a. 笔者绘　b. 笔者拍摄



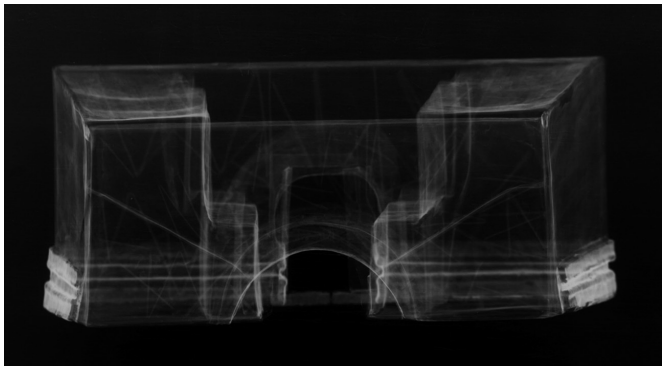
a　　b

〔图二十五〕方城城身构件内部结构平立面图
a、c. 笔者拍摄　b、d. 笔者绘

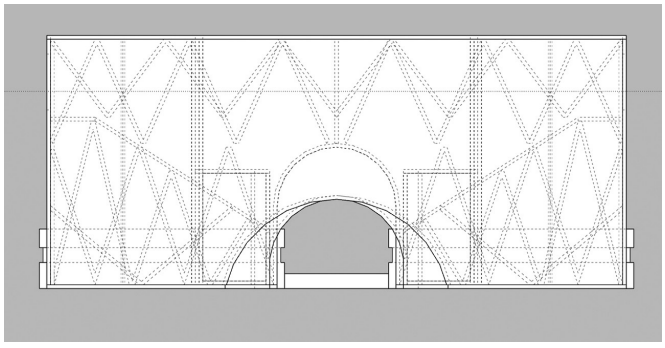




a　　b



c



d

的平行式与三角式兼用的情况。方城城身在北门洞券平水墙及其两侧墙面分别使用平行式，前者为四道平行于面阔的板片，后者为三道左右对称、水平旋转45°的板片，且在转角处添加斜向小板片加固。在南门洞券以南和扒道券以北的两个空间中，三角式排列得到应用〔图二十四，图二十五〕。月台在隧道券平水墙及坡道部分使用平行式，前者每侧用四道平行于面阔的板片，后者用两道平行于进深的板片。剩余部分以看面墙南表面和坡道顶端为两道分界线分为三区，分别采用三角式。其中北面两区并未使用连续折线，而是由若干段独立的相互构成三角形的板片组合而成；南面则沿用连续折线沿四边分别布置，中部增加两道平行于面阔的板片〔图二十六，图二十七〕。

4. 规律性与随机性

三角式内部结构中，地宫底、两侧大夯灰土和月台整体呈现一定排列规律；方城城身、地宫墙和东西看面墙部分排列规则，部分排列随机[1]；扒道券整体排列均无明显规律。不规律的排列通常出现在门洞等特殊形体附近。

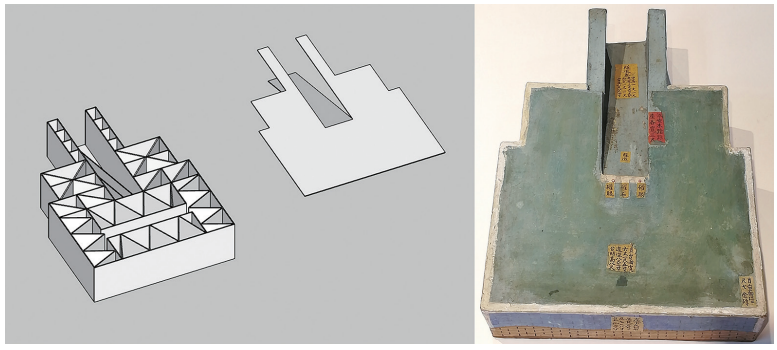
即使在排列规律的内部结构中，内部板片的设计精度和规范程度也远远不及外部结构。

1. 连续折线的长度和折线的段数并不一致，折线顶点与其它板片的衔接并不严格，一些折线的最后一段远短于其余段长度，制作折线段的板片长度应当未经计算，仅大致统一了高度。地宫底构件的分区用板片，由一段或多段板片首尾接续弯成，其形状也并不标准，部分构件首尾连接的节点误差较大。

2. 在对称分布的两侧，内部结构设计一致，但现状也不尽相同，其差异超过了由于经年所受外力导致

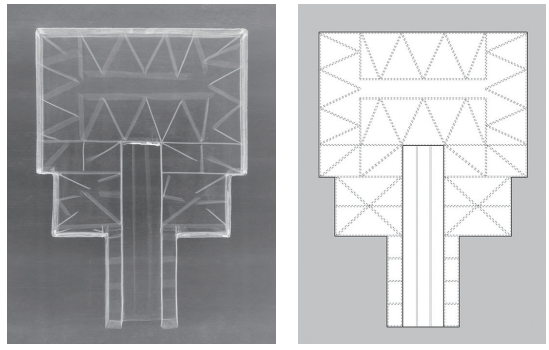
‹1› 方城城身的平行式板片排列规则，三角式板片排列随机；地宫墙券口板片排列规则，金券平水墙板片排列随机；看面墙基座及下碱板片排列规则，上身板片排列随机。

〔图二十六〕月台构件内部结构示意图
a. 笔者绘　b. 笔者拍摄



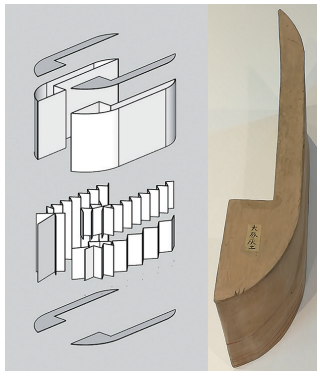
a　b

〔图二十七〕月台构件内部结构平面图
a. 笔者拍摄　b. 笔者绘



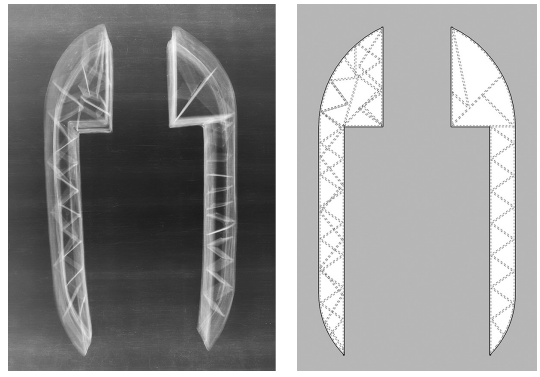
a　b

〔图二十八〕两侧灰土内部结构示意图
a. 笔者绘　b. 笔者拍摄



a　b

〔图二十九〕两侧灰土内部结构平面图
a. 笔者拍摄　b. 笔者绘



a　b

的结构位移，应当是在制作时就留下的，部分区域的对称两侧甚至连折线段数和转角是否有45°斜向支撑的做法都不一致。

3. 东西两侧大夯灰土构件在外形、位置和功能上均对称，但内部结构做法差异较大。二者虽然均为单纯的三角式，但西侧大夯灰土仅有一层内部结构，东侧有上下两层，分界板在中部稍上的位置，上、下层结构相似，但下疏上密，长边下层仅13段折线，上层有19段，短边上下层也交错，长短边分开。西侧的三角式并非由连续折线构成，而是由若干独立的板片以近似三角式的方式排列‹1›，这些板片的上边并未抵达构件上表面，南部突出部分的处理也更简略〔图二十八，图二十九〕。

因此，虽然烫样构件的内部支撑在基本结构上可见一定的规律，并可以此为依据进行粗略的分类，但这种规律在更精细的层面并不严格，随机性在三角式构件中表现得尤为明显。这一现象可能受所用材料、所在构件和制作人三个因素的影响。

由于内部结构主要起结构作用，并不为审阅烫样的官员和皇室成员所见，因此其精度要求远低于外部结构。在样式房工期紧、任务重的情况下‹2›，花费大量时间和精力设计和制作精确的内部结构实无必要。对于不同构件内部结构的设计也仅以达到结构强度要求为目标，满足大致框架即可。甚至对于已经发展成熟的陵寝规制而言，某些内部结构的设计原则和外部形制的设计一样，已经形成某种固定的程

‹1›　北部六段折线仍按三角式首尾相接，自第七段起，出现平行和三角兼用的情景，排列较随机。

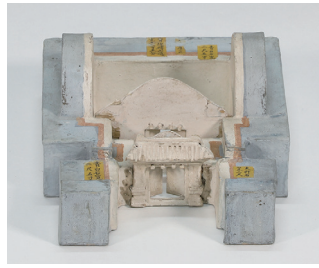
‹2›　关于此前提的论述，详见前揭刘畅、文雯等《清华藏定东陵烫样基础信息实录》。

〔图三十〕方城屋顶做法细部
姜明摄





〔图三十一〕地宫石门细部
姜明摄



式，无需专门创作或仅需微调即可使用。用材方面，从成本控制的角度考虑‹1›，也很可能使用制作外部结构裁剪剩余的边角料，因而长度随机，某些结构甚至高度也不完全满足要求。制作者根据当下可用的材料在总体框架下灵活权变，或化整为零，或调整位置，当发现某些区域强度不够时，再添加额外的支撑。

部分造型复杂的构件采用平行式或中心放射式的内部结构，规律性强。在使用三角式的构件中，造型不规则者，或整体中有孔洞时，内部结构排列的随机性增加。

值得注意的是，样式房由一个团队制作烫样，同一烫样中的不同构件未必由同一人完成，同一构件的内部结构可能由制作该构件外部结构的人独立制作，也可能由不同的人完成。不同工匠的习惯手法、技术水平等各异，因此，某些本应一致的内部结构在设计和制作上出现了较大的区别，不同构件内部结构制作的精准度也有很大差异。

四　主要组件结构做法复原

1. 屋顶做法

本烫样中的屋顶有两处，分别为明楼上下层檐和地宫石门，前者分为两个独立构件，后者粘在地宫墙构件上。

明楼上下层檐的屋顶是烫样中十分醒目而重要的构件，制作精良。表现瓦作细节和斗栱做法‹2›。究其结构，上层檐是底部封闭的体块结构，下层檐是中空的环状构件。

地宫石门顶的做法与明楼上下层檐的做法类似，均做出翼角冲出和起翘，正脊两端吻兽用纸板剪出轮廓。受尺寸和所处位置影响，垂脊未作出，底面接冰盘檐而非一个平面，瓦垄也不用沥粉而改用粘贴纸板条〔图三十，图三十一〕。

‹1›　制作烫样所需的纸板等材料相对于整个工程而言是微不足道的，但这部分纸板的数量相对于烫样外部结构而言依然相当可观。普祥峪菩陀峪万年吉地工程处设有样式房和算房两个机构，算房用于核算和记录物料成本，同治时拟重修圆明园工程烫画样物料价值有所记录，光绪时三海烫画样材料账中也记录了所需各项纸张颜料的数量，推测普祥峪菩陀峪万年吉地工程的烫画样材料成本很可能当时也有记录。故而样式房有控制物料成本的约束和必要。

‹2›　李超：《清代昭西陵营建与复原研究》，天津大学博士学位论文，2015年。

2. 券洞做法

烫样中多处出现各式券洞，涉及较复杂的曲线和曲面，以至于定陵地宫烫样制作时，样式房需要专门为此绘制分件草图。

草图中大衰衣顶构件下方的反券以及并置的隧道券及其蹬撞券提供了曲面制作的线索。对应同一曲面、分属两个构件的板片可能使用同一套模具。若模具曲面中空，如铜模具，则可能分别用模具的内外两面塑形；若模具为实体，如泥模具，则两模具制模时可能以其中之一为母模，翻出第二件模具，再分别裱纸塑形。由于泥模具干燥时会有7%—14%的尺寸收缩[1]，因此两个外表面之间自然形成一定空隙。

金券与其门洞券的交界面是一个三维曲面。金券为一个单独的构件，应是在相对完整的形体上掏出门洞券的位置。门洞券由两个分件组成，下方是一个二维曲面的分件，前后两面平行，用于表达设计信息，上方粘贴一条三维曲面的分件，用于与金券组合。这样的做法使得金券内部形成了一个生硬的阴角，实际建造中，门洞券的北面应随金券弧度，这样的简化说明该误差在层层揭看的俯视视角下是可以被忽略的。

观察构件并结合X光片可见，方城的北面与隧道券相连的券洞在初始制作时至少经历了两次修改。北面纸板最先挖出的券脸中高及面宽均大于现状，后添补了一片，缩小券洞尺寸，粘贴组合成型。随后又添补了一个小型的券座分件，进一步缩小券洞尺寸至现状，最后覆面层纸并涂颜料。由于最后一步修改在覆面层纸之前，其间并未修改隧道券尺寸，因此这两次缩小券洞尺寸的做法可能是为弥补制作时的失误〔参见图三十六：a〕。

3. 大墙做法

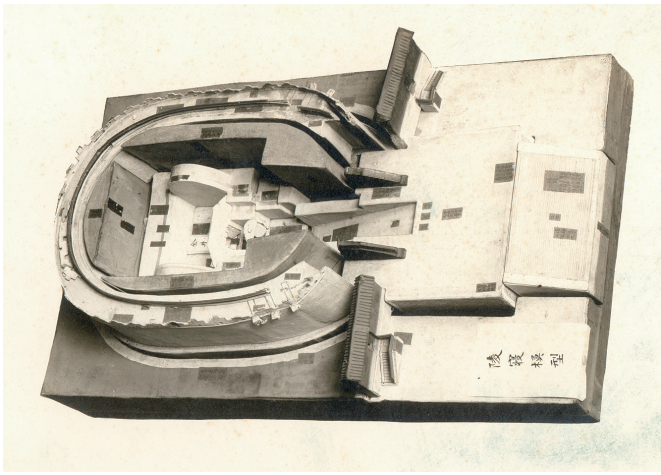
实际工程中出现有较厚的大型砖墙和夯土，典型者如宝城及其内的大夯灰土。宝城被制成一整体构件，以泊岸上皮为界分上下两部分，在城面以上做出宇墙、石栅栏、垛口、上宝城踏跺、荷叶沟及石沟嘴等细部。泊岸豆渣石用外贴画有石缝的褐色纸表示，压面石用表层施涂白色颜料表示。城身及以上砖缝不画出，垛口下添安青白石用贴附涂有白色颜料的纸板条表示。青白石挑头石沟嘴在城面上的水沟嘴直接在主体上表面涂白色颜料并用墨线勾边，向外挑出的滴水头则在对应位置贴附涂有白色颜料的“T”形截面纸板。宇墙里面过水沟下的18个青白石水簸箕不见于现状，但不排除曾经画出的可能[2]。宇墙墙身用一根纸板条上下分别涂红色和灰色颜料表示上身和下槛的做法，墙帽自下而上分别由卧置、立置及线香条组成，施涂黄色颜料代表琉璃瓦。宇墙内侧随墙石栅栏分别贴附方形纸板，施涂白色颜料表示青白石材质，镂空表示“栅栏门四扇，掏空当作槅子”[3]。宇墙断面涂白色颜料表示青白石角柱。实际建筑中，

‹1› 该数据为清华大学建筑学院烫样研究课题组复制试验测得。

‹2› 构件表面很可能经过较大的涂改，后文详述。

‹3› （清）全庆等辑：《菩陀峪万年吉地工程备要》，清内府抄本，中国国家图书馆藏。

〔图三十二〕中国营造学社早期地宫烫样照片
梁思成摄



〔图三十三〕两侧大夯灰土红线修改痕迹
姜明摄



宇墙在前面斜尖地另有一段，营造学社早期照片中也可见与主体不对位的内侧宇墙，今该段已不存〔图三十二〕。

宝城与方城交接处以保证方城城身及城面构件完整规则为先，复杂做法均集中在宝城构件上。扒道券上宝城及宝城上方城的高差均在宝城构件前端作出，方城城身构件仅在相应位置开扒道券门洞与之呼应。此处构造复杂，因此烫样组合后尺寸并不完全精准，但重要节点的设计内容可以从中明确。

宝城与地宫各券座之间的灰土应是一个整体，在烫样中分为五个构件。这些填充性部位的重要性低于露明部位，在设计制作时配合重点构件。地宫填厢盖面灰土下方配合蓑衣顶顶部形状，上表面填平，平面也近似遵从蓑衣顶，稍大一圈。两侧及背后大夯灰土的划分则同时配合宝城内侧的形状和填厢盖面灰土的尺寸。若连做一体，则对构件尺寸精度要求过高，易出现内外尺寸不匹配的情况，也不便于揭看。

这些夯土构件为棱角分明的盒状结构，在边棱处均贴有加固用的面层纸条，除地宫填厢盖面灰土外，表面均施涂褐色颜料表达材质。两侧及背后大夯灰土构件内外侧面均用红线绘出不同做法的高度界限，三个构件的红线交圈。其中两侧构件的举溜线最初方向画反，后在错处覆盖一层褐色颜料，再重绘正确的红线〔图三十三〕。

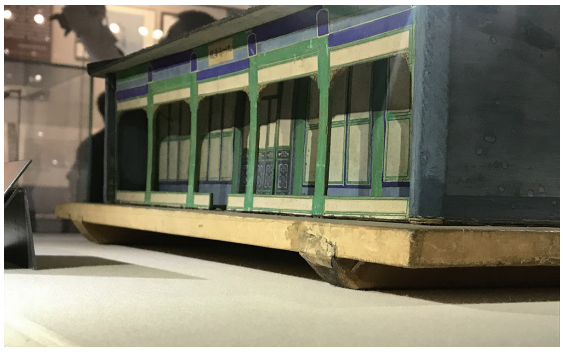
4. 底盘做法

本烫样底盘为方木条穿插成的棋盘格，边木方边长约36毫米，内木方边长约24毫米，内外木方高均约24毫米。进深内木方两条，面阔内木方四条，按进深压面阔交接；内外木方均做直型透榫。大槽底构件的纸板用动物胶和木框架粘贴后外层覆盖至少两层面层纸，包裹至边木方底面，土黄色颜料满涂至侧面，部分颜料流至底面‹1›。

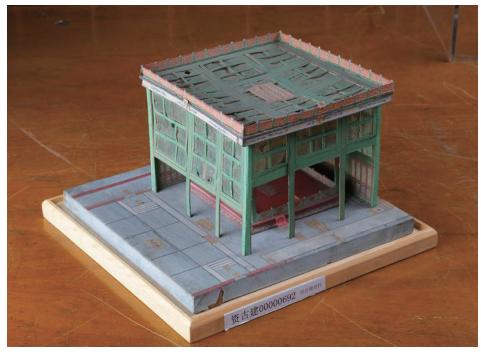
观察圆明园等处烫样可见，方木条棋盘式透榫穿插是常用的形式，其作用为承托烫样和塑造地形。九洲清晏殿的底盘形式特殊，在平板下左右各约1/8面阔的位置，沿进深方向各垫一根宽木条，顶端向下抹斜，用面层纸和上方木板粘贴，使得烫样整体俯视看来略微抬起，更显轻盈。这件烫样为同治拟重

‹1› 结合UV光下现象推测，土黄色颜料可能为雄黄。

〔图三十四〕九洲清晏殿烫样底盘细部
笔者拍摄



〔图三十五〕养心殿东暖阁添搭彩台与明瓦木棚烫样
故宫博物院藏



修圆明园时制作‹1›，时间与定东陵工程相近，做法不同〔图三十四〕。

多件烫样将平面中的信息直接转移，并未做三维的处理，不同烫样对设计的表现方式不尽相同。甬路、散水和外侧墙体‹2›等内容通常平面画出。养心殿东暖阁添搭彩台与明瓦木棚烫样则将相邻的建筑并前廊台阶平面直接画出，暗示木棚所在地段环境〔图三十五〕。这些平面的线条亦可作为烫样立体构件安置的控制线，其从图样到烫样的生成方法与现在常用的建筑模型制作方法如出一辙。

五　烫样组件之尺度调整

定陵地宫烫样草图表明，即使在绘制烫样分件草图时，样式房标注的尺寸也是建造尺寸，并未出现比例尺或烫样尺寸。两者之间的换算应由工匠自行完成，在1：100的寸样中，工匠可直接以寸代丈，简便地确定应裁纸板的尺寸，在二寸样、五分样甚至一寸五分样中，换算过程就变得相对复杂。进而推知，当建造尺寸不很整，如精确到寸、分时，换算成烫样只有毫厘之差，远超烫样制作的精度要求。

因此，烫样的设计尺寸可能在建造尺寸按一定比例缩放后，由操作的工匠自行取舍细节，不同匠人的取舍习惯和制作习惯不同，使得构件之间或有一二分的差异。相邻构件间的预留空隙可能是工匠间约定俗成的默契，至多在工作前说明应各有退进。于是工匠在制作自己的构件时，外围构件的内表面稍扩大些，内层构件的外表面稍缩小些，也可能有匠人按标准尺寸制作，各人手法不同，留空宽窄不一，但需保证最后组装和揭看的顺利进行。当使用泥模具时，模具本身的干缩变化就产生了空隙。高度的夸张可能与之类似，拔高的程度已经成为一项毋需专门说明的常识，只是此类层层嵌套的异形陵寝烫样在高度上的权衡应比木构建筑更加复杂。

如此，烫样所涉及的尺寸包括工程尺寸、制作尺寸和现状尺寸三种，通过测量现状尺寸，结合文字

‹1›　前揭蒋哲《从图样、烫样到空间——圆明园九洲清晏殿内檐装修研究》。

‹2›　北海澄性堂烫样南侧墙体及门洞。

记载的工程尺寸，能够一定程度上探讨其制作尺寸。绝对的复原是不现实的，我们只能根据现有的材料，展开合理想象，推测当时匠人的想法和做法。在此过程中，我们应当时刻反思现状的结果哪些是原始制作时造成的，哪些是时间造成的，哪些是有意造成的，哪些是随机造成的，力图贴近当时的现实，避免陷入只见树木不见森林的误区。

六　余论：内部结构的远见

综合上文信息，可以勘察清华大学藏定东陵烫样的结构设计及其内部结构设计颇具匠心，因形而设，大小兼顾，直斜配合，求全勿缺，是烫样体型稳定性、敷色稳定性、保存时期湿度响应稳定性的保障。进一步而言，正是这种貌似有些“过于复杂”的内部结构，也确保了烫样初期制作完成后，即使经历了修改、重新敷色、加固展出等过程，依然保存基本完好。兹将研究小组观察到的烫样完成之后的修改经历整理如下，以飨同仁。

1. 烫样制作后修改情况

由于烫样是一件彩绘贴签的进呈样，贴黄签的时间下限应在同治十二年五月二十五日进呈前。因此，凡必须在此之前完成的工作均应是烫样原始制作阶段的成果‹1›。第二个锚点是红签和烫样表面潦草的墨字。红签的时间应在同治十二年六月初八日“宗人府神机营撤回方城月台，添安木踏跺一各一分”‹2›前后，墨字的时间延迟至同治十三年六月的方案更改‹3›。这两个时间点将烫样现状的发生时间粗略分为三段，即初次制作阶段、修改施工阶段和修复干预阶段。

现存烫样的绝大部分是在初次制作阶段完成的，下文仅就修改施工和修复干预现象略做探讨。

(1)宏观观察可见月台的南侧面以及东西偏南的两侧面、东西看面墙的下槛、方城垛口、方城城身的四个侧面和明楼墙身下槛使用了同一种灰紫色的颜料，该颜料不见于烫样其他构件中〔图三十六〕。结合现状破损局部和UV影像可知，这些部分是在原有灰色表面基础上，先满涂白色颜料，再覆盖调色的灰紫色颜料，最后用白色颜料勾边‹4›。显微偏光观察可知，这一区域使用的颜料有人造群青和碳酸钙，与其它灰色区域相比减少了更昂贵的石青‹5›。除看面墙外，这些颜料均或多或少地覆盖在黄签之上，时间

‹1›　方城南门洞券底面贴黄签写“中高改一丈六尺”，为所有黄签中唯一提及修改尺寸者，字体也与其他不同，应当作为例外单独考虑。

‹2›　样式雷图档366-00211：堂谕档普祥峪菩陀峪纪事，中国国家图书馆藏。

‹3›　《菩陀峪万年吉地工程备要》：同治十三年六月奏案册开，方程门洞券原估不合做法，今改外层罩门券中高一丈一尺二寸，面阔九尺四寸，进深四尺五寸。里层门洞券中高一丈六尺六寸，面阔一丈四尺，进深六尺。

‹4›　区域内UV光下有白色荧光，较白色区域暗，较其他灰色区域亮。推测显色物质为碳酸钙，表面覆盖的灰紫色颜料无荧光反应。东西看面墙仅南侧露明面用白线勾出腰线石，北面满涂灰紫色颜料。

‹5›　详见前揭文雯、刘畅等《清华藏定东陵烫样制作工艺初探》。

〔**图三十六**〕**疑似后期重涂灰紫色颜料**　姜明摄
a. 方城北面　b. 方城东面　c. 月台西侧　d. 方城垛口　e. 明楼墙身南面　f. 西侧看面墙



a　b　c



d　e　f

在贴签后。

(2)方城和月台的灰紫区域均有铅笔绘制的砖线，与原始做法的毛笔墨线不同，可见用尺比量时所画定位点。仔细观察可见，这些区域的下方隐约有毛笔绘砖线的痕迹，铅笔与毛笔绘制的砖线不重合，铅笔线的砖尺寸明显偏大‹1›。方城城身东、西、南三面均有铅笔砖线，而北面仅有灰紫颜料，无砖线，隐约可见下层被覆盖的毛笔绘砖线。南面西侧黄签中间破损处露出该面的原始做法，即灰色颜料上用毛笔绘制砖线。对比月台侧面南北两部分台明砖线，也有类似的差异。铅笔于19世纪末传入中国，在定东陵工程设计施工阶段，不应当出现在烫样中。

(3)此外，在方城城身南面罩门券处，铅笔绘制砖线为“勾尺咬”砌法，而此处做法应和他处相同，均为五伏五券‹2›。罩门券两侧近平水墙处也隐约可见毛笔绘五伏五券痕迹。样式房在方案设计过程中，对砖券的形式极为重视，在烫样贴签和分件草图中多次写明，不应当出现罩门券做法的误画。

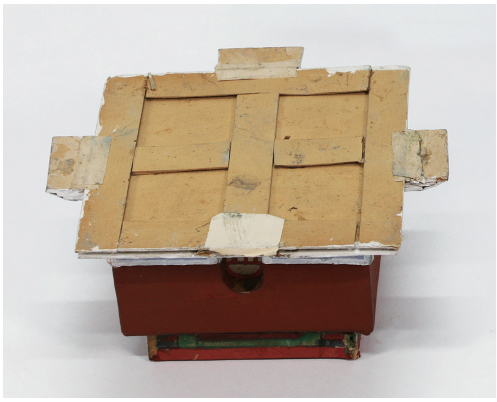
这次重涂可能是后人出于展示目的所做的干预。上述构件表面重绘部分均仅为组装完成后的露明部位，方城北面不露明，因此只重涂了颜料‹3›，未绘砖线，月台两侧看面墙后不露明部分则完全没有重涂。并且，重涂部分用较细的铅笔线代替了较粗的毛笔线，在方城南面显眼位置处覆盖了毛笔书写潦草

‹1›　方城须弥座至城身顶毛笔线共15层砖，铅笔线共11层砖；东西面毛笔线共13.5块整砖长，铅笔线共11.5块整砖长。月台台明高毛笔线14层砖，铅笔线6层砖。侧面看面墙以南毛笔线长16块整砖，铅笔线长8.5块整砖。

‹2›　参见前揭(清)全庆等辑《菩陀峪万年吉地工程备要》。

‹3›　北面颜料比其他三面色浅，似在灰紫色颜料上又涂一层白色。

〔图三十七〕明楼台基底面细部
姜明摄



的字迹，而方城顶面不露明部分的字迹得以保留。

除此之外，明楼墙身上身红色颜料、东西看面墙上身红色颜料、月台面灰绿色颜料、大槽底面灰白色灰绿色及土黄色颜料、宝城灰色颜料、宝顶土黄色及灰色颜料、方城地面灰色颜料等处，均有颜料覆盖在贴签上的现象‹1›。

由此可知，除明楼上下层檐外，几乎所有烫样组装后的露明面均经历过至少一次贴签后的重涂，而几乎所有组装后不露明的部位都未见贴签后重涂的迹象。据此推测，此次或此系列干预的预期效果仅为组装的烫样静态展陈时的表观整洁，对烫样所承载的历史信息并未给予过多关注。

烫样的后期干预中，结构加固的做法目前见到两处：其一为大槽底木框架东南角相互垂直的两根铁钉‹2›，其二为明楼墙身底部用于连接北面台阶和底盘的纸张〔图三十七〕。明楼北面台阶现已不存。明楼底盘做法类似家具的攒边装板，其余三面的连接用纸均停留在“大边”中线附近，颜色较深。仅北面连接用纸超过“大边”到达“面板”，颜色较浅，纸质较厚，背面有黑色印刷的格线，类似文物标签用纸。推测这次干预可能是出于加固北面台阶的目的，发生时间较早。但北侧的台阶并未能因此次加固得以保留，最终仍随加固用纸的外侧一同脱落，不知所踪。

烫样的另一类重涂应与同治十三年至光绪三年的方案修改相关。

(1)方城顶面的表层颜料在贴签周围可见明显的闪避空隙，在其下另有一层与方城南北门洞券颜色相同的底层颜料，UV光下贴签处暗于其余部分，可知表层颜料为贴签后涂刷，可能使用含碳酸钙的颜色更浅的颜料调色。与前述部位不同的是，方城顶面的潦草墨字覆盖在表层颜料上，应当是同治十二年五月至同治十三年六月之间涂刷，也许是为了墨字显示更清楚，也许仅仅是两次颜料调色的差异。相似的修改方案墨字在方城南面也隐约可见，可惜被后世灰紫色的重涂覆盖，文字与其周边的表层颜料均无法得见。

(2)对比方城的南北门洞券和扒道券三个构件〔图三十八〕，其表层颜料颜色基本相同。南北门洞券的五伏五券砖线被压在黄签下，应是原始制作。同治十三年方案修改时，首先直接在黄签上更改数字，但由于构件较小，黄签位置有限，导致中高的修改数据模糊不清，故在构件底面另贴黄签说明。签文中的“四月廿一日”应指同治十三年的四月廿一日‹3›。

(3)扒道券构件北面在灰色之上又涂一层白色，墨绘五伏五券并腰线石和角柱石，是烫样中仅见的

‹1› 包括黄签和红签。

‹2› 详见前揭刘畅、文雯等《清华藏定东陵烫样基础信息实录》。

‹3› 前揭《清华藏定东陵烫样基础信息实录》中，推测的方案修改时间与南门洞券制作时间有误，在此订正。

〔图三十八〕方城各券座
a.南面　b. 北面　姜明摄



a



b

券脸表现石材的构件，白色也比他处更稀薄。金券、地宫门洞券、地宫罩门券等券座的券石做法均明确记录在工程备要和黄签中‹1›。此处原估作法无青白石，“光绪元年十月奏案册开，方城券洞内两旁墙下原估用细砖往上垒砌，恐致受潮，砖性酥鹹，今将券墙根脚与平地连接处安白石土衬一层，下脚白石一层，墙中腰安白石腰线一层，拐角处各安石柱”‹2›。据此推测，此处白色及其上墨线可能是光绪元年方案修改时添加。值得注意的是，在同治十三年、光绪元年和光绪三年有多处出于结构考虑，添安了青白石做土衬石、腰线石和角柱石，但方城的其它部位的修改并未体现在烫样中。

(4)宝城构件也经历了类似的修改。“光绪元年十月奏案册开，宝城上垛口原估与城身细砖相连垒砌，今将垛口下添安青白石一层，厚八寸，宽三尺，铺至垛口里面，凿作荷业沟泄水一道”‹3›。现状的宝城上垛口与城身交接处的外皮贴有一圈白色纸板条，宽约2毫米，应是此次修改的结果。宝城内侧中部有“中一寸八分半”字样，前部有“中一寸六分”的字样，为烫样中仅有的说明烫样尺寸的文字，其书写时间及目的待考。

综上所述，现存烫样至少是三个阶段制作的叠加结果：同治十二年的初次制作，此次制作分五月和六月两段，均贴签进呈，兼顾设计说明和外观精致；同治十三年的方案修改，时间在三月至六月间，主要用于说明方案内容，不在意外观；近现代的干预，目的在于加固结构和表观全色，注重烫样的视觉效果而忽略其中的历史信息。因此，我们要探寻清代烫样的表面做法，应当选取前两个阶段的部分作为案例，对第三阶段涉及的部分应谨慎分析[表二]。

‹1› 《菩陀峪万年吉地工程备要》：金券……青白石券一道计二十一路……券石上用砍细澄浆城砖发五伏五券……门洞券……青白石券一道计十三路……券石上用砍细澄浆城砖发五伏五券……罩门券……青白石券一道计十七路……券石上用砍细澄浆城砖发五伏五券。

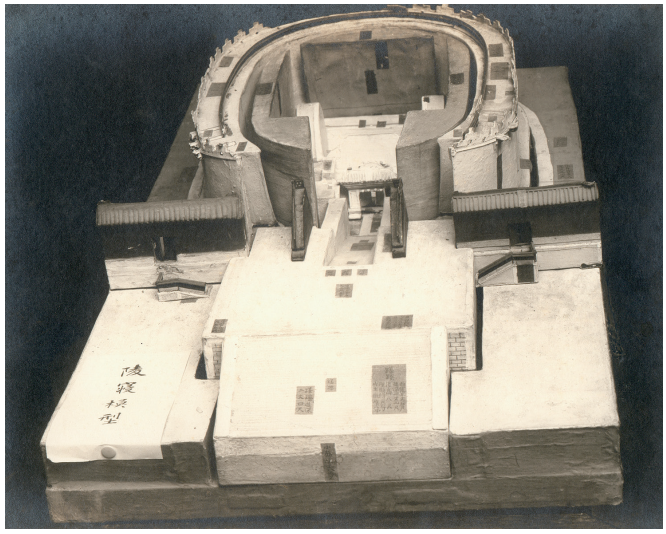
‹2› 前揭(清)全庆等辑《菩陀峪万年吉地工程备要》。

‹3› 前揭(清)全庆等辑《菩陀峪万年吉地工程备要》。

［表二］ 烫样三段干预情况简表

时间	同治十二年五月至六月	同治十三年至光绪三年	1935年后
范围	主体结构、题签及以下的表面	方城及其南北门洞券、扒道券构件部分表面	组装后大部分露明面
表面做法	面层纸、原始颜料及彩绘、贴签	二次颜料、墨题	三次颜料、铅笔线
目的	进呈御览	内部使用，指导施工	加固结构，表观整饬

〔图三十九〕中国营造学社早期烫样看面墙踏跺错位
梁思成摄



2. 烫样组件结构稳定性与修改之关系

20世纪30年代后，人们将烫样视作文物而非实用工具，因此对其所做的修改着眼于结构稳定和表面美观。

表面全色虽然旨在改变烫样的外观，覆盖了一定的历史信息，但表面颜料含有胶结剂，客观上加强了构件表面的整体性和稳定性，侵入贴签表面的颜料加固了签纸与构件表面的粘接。

此外，历史照片显示，部分构件曾经历过脱落和回贴。例如，东西看面墙前踏跺均曾脱落，并与其他烫样中的踏跺构件散落在一起，随此次修改复位〔图三十九〕。西侧木踏跺扶手曾脱落，初用透明胶带粘连，后改用动物胶粘贴。宝城部分垛口及挑头石沟嘴近年经历加固和回贴。

近年来，对烫样所施加的人工干预较以往而言更为科学和规范，全流程同步记录，妥善保存脱落的构件，对移除的历史干预痕迹和即将脱落的表面碎片均谨慎取样存档，以供未来研究使用。

［作者单位：文雯，清华大学建筑学院硕士研究生；
刘畅、荷雅丽、王青春，清华大学建筑学院］

（责任编辑：张　露）